

新学術領域研究 領域代表者からの報告

2. 研究の進展状況及び成果の概要

【領域番号】 2005

【領域略称名】 ソフト界面

【領域代表者（所属）】 前田瑞夫（（独）理化学研究所・前田バイオ工学研究室・主任研究員）

ソフトマターは、タンパク質や核酸・多糖類などの高分子・液晶・両親媒性分子・コロイドなど大きな内部自由度を特徴とする有機物質の総称である。外部からの刺激によって構造や性質が大きく変化するソフトな特性が、その大きな特徴である。このようなソフトマターから形成される動的な界面をソフトインターフェースと定義する。ソフトインターフェースは、生物機能の多様性を発現する源になっているため、医療を支えるバイオマテリアルやバイオデバイスなどの性能や機能をコントロールする重要な因子と位置づけられる。しかし、その分子レベルでの研究はほとんどなされておらず、しばしば従来の知識では理解できない現象がみられ

る。したがって、バイオマテリアル・デバイスの開発のために、生体分子を表面固定化するというような合目的なアプローチにとどまることなく、生体分子を含むソフトな界面を持つ特性を分子レベルで明らかにしていく学術的な取り組みが必要であると考えられる。ゆえに本新学術領域研究では、様々な先端材料を開発していく上で重要な鍵を握る「界面」について、単純な二相系に挟まれた「面」としてではなく、動的かつ空間的な分子の特性が大きく現れる「ソフトな界面」と捉える。この認識に基づき、ソフトインターフェースの分子科学という新しい視点から、精密な界面分子基盤の構築、界面分子計測技術を開発していくとともに、それら界面が関与する新奇な現象・物性を解明することで分子デバイスなど新たな機能材料の開発を推進し、新たな学術領域の創成と将来の産業基盤の確立に資することを目的とした。

すなわち、本新学術領域研究では、生体分子を含む界面構成因子を動的・空間的に捉えるソフトインターフェースの分子科学という新しい視点から、精密な界面制御技術や三次元的な界面評価技術を開発し、界面が関与する新奇現象・物性を見出しつつ、分子認識デバイスなどの新たな機能材料の開発を進めてきた。異なる学問分野の研究者が参画し、新たな融合学術領域の創成を目指す。これによりソフトインターフェースを統括する学理を構築し、バイオマテリアル・バイオチップ等への応用に向けた設計指針を生み出すことを目標に研究を進めた。

ソフト界面の理解には、ラマン散乱法や和周波発生分光法などの分光学的手法、表面力測定法、電気化学的手法、大型放射光施設を用いる溶液小角 X 線散乱法や X 線反射率測定法、等が特性解析に有効であると考えられる。ソフト界面の設計・創成については、表面開始グラフト重合、DNA オリガミ、などのボトムアップ的な手法や、ナノインプリント、バイオリソグラフィなどのトップダウン的な手法が整い、様々な表面機能特性を有するソフトインターフェースを自在設計・パターン化構築することが可能となってきた。これらを得意とする研究者の有機的連携を図ることを本領域の大きな目標とした。

このように本提案領域は「既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指す」ものである。加えて、「多様な研究者が新たな視点や手法による共同研究を推進することにより、当該研究領域の新たな展開を目指し」てきた。

また、研究人材の育成も極めて重要な課題である。領域主催の研究会には博士研究員や大学院生にも積極的に参加していただき交流を深めることを目指した。共同研究を通じてポスドク・大学院生の交流を図り、次代を担うべき世代の視野を広げることに尽力する。「ソフト界面」は、先端材料を物理学・化学・生物学の多面から学ぶという新たな視点を提供する学術領域であり、ワークショップやサマースクール開催などを通じて概念の普及と学問体系化に努める。そのための教科書づくりを本領域が中心となって進める。以上の取り組みを強力に推進し、人材育成に努めてきた。

以下にその具体的な取り組みと成果について述べる。なお学術的成果については項目 8 で詳しく述べる。

1) 計画研究の設定とスタートアップ

本申請領域研究では、ソフトインターフェースに関する第一線の研究者が、A01「分子基盤」、A02「分子計測」、A03「分子認識」の 3 つの研究項目、13 の計画研究グループを組織した。自己組織化によるボトムアップ型の界面構築法や、ナノインプリントないしはリソグラフィーなどのトップダウン法と組み合わせた精密パターンニングを先導してきた界面分子基盤の専門家、各種分光法や X 線・中性子散乱・反射率測定、原子間力顕微鏡、表面力測定、界面電気化学測定など界面解析の専門家、さらにタンパク質や核酸、多糖類そして細胞までを自在に操ることのできる機能界面の専門家が一堂に会する点に特色があり、それらの緊密な連携のもとに新たな学術領域の創成を目指した。計画研究代表者 13 名のうち、大学教授は 5 名、准教授 4 名、研究独法の部長級 3 名であり、その後 3 名が教授昇任を果たしている。ちなみに女性は 13 名中 4 名 (31%) であり、これについては後述する。

領域発足後、ただちにこれら 13 の計画研究をスタートさせるとともに、ホームページを立ち上げたほか、発足 2 ヶ月後には公募研究の募集案内も兼ねた領域活動紹介のため第 1 回公開シンポジウムを開催し、企業関係者や大学研究者を中心に 100 名の参加を得た。ここでの熱心な質疑討論から大きな期待が感じられ、順調なスタートを切ることが出来た。

2) 領域設定ならびに研究項目の妥当性

公募研究には 20 件の募集枠に対して 200 件近い応募があり、この新しい領域に対する研究者の関心の高さが明らかとなった。また 3 つの研究項目に対してはそれぞれ 5:6:7 の比率で応募があり、合成・構築に比して計測・解析やバイオ・応用の割合がやや高いものの、おおむね項目ごとにバランスの良い件数分布となった。これらのことは、本領域の設定課題が時宜を得たものであり、研究項目の設定が適切であったことを示している。

3) 若手研究者の積極的登用と共同研究

第 2 年次秋からは公募研究者 24 名が加わり研究交流や共同研究はさらに活発となった。公募研究者は全体に若く、24 名のうち教授職はわずか 3 名であった (採択時点)。計画研究代表者 13 名を合わせた 39 名についてみても教授級 (独法部長級を含む) は 8 名にとどまり、全体に若い組織であることが本領域の大きな特徴である。もちろんこれは分野が新しいことと無関係ではない。若い研究者らは皆、自身のオリジナルのテーマを提案してきており、主体性を持った研究運営が可能であったため、スムーズに交流が進んだ。

計画研究・公募研究計 37 件というまとまった数の研究が同時進行していた訳だが、本領域ではこれを研究項目ごとに細分化はせず、常に全員参加の全体会議形式で公開シンポジウムならびに非公開の領域会議を行ってきた。すなわち、領域型研究で一般に行われる「班会議」は一切開催しなかった。これは各研究者の専門分野を超えた交流を図るためであり、それは夜の情報交換会での活発な交流や 20 件近い共同研究となって結実している。これについては後で詳述する。

4) 多様な研究人材の融合による新学術領域の創成

後半の第 4 年次には公募研究の大幅な入れ替えが起こった。すなわち審査の結果、計 25 件の採択が決まったが、前半からの継続は 9 件にとどまり、16 件が新規課題となった。こうした研究課題の大幅入れ換えは領域の継続性・統一性という点からは一般に好ましくないと考えられ、また 5 年間の研究成果をまとまった形で示す上では不利な状況であるとも考えられる。しかし「多様な研究者が新たな視点や手法による共同研究を推進することにより、当該研究領域の新たな展開を目指すもの」という本領域の目的に照らせば、これはチャンスである。実際、前後半通じて延べ 40 人の公募研究者の参画を得た訳であり、これにより「既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指すもの」としての本研究領域の裾野が大きく広がったと考えることが出来る。

このような流動性が見られた理由としては、前半の公募研究者 24 名から実に 5 名もの若手研究者が「最先端・次世代研究開発支援プログラム」に採択されたことが大きく寄与している。本新学術領域の発展性を示す一つのエピソードとして触れておきたい。また計画研究代表者 13 名、公募研究代表者 40 名の計 53 名から、教授への昇任は 13 名、准教授への昇任は 7 名を数えたことを付記した

い。これらはもとより各研究者の能力や努力の賜物であるが、もし本領域がいささかなりとも寄与をしたのであれば望外の喜びである。

5) 班会議ではなく横串型や合宿型の研究会開催

全体会議（公開シンポジウムと領域会議で1泊2日）のみでは機動性に欠けることと、討論時間が限られることから、領域全体に横串を刺す形でテーマ設定を行い、1泊2日でのワークショップを計3回開催して交流の機会を増やした。特に福岡市での「ソフト界面と水」、富山市での「ソフト界面のダイナミクス」では合宿形式で開催し、外部からの講師の先生も交え、夜遅くまで議論が続き、交流をさらに深めることが出来た。これらワークショップは領域内では自由参加とし、また外部にも公開としたが、内部からは毎回半数以上のメンバーが参加し、また外部からも企業研究者を中心に多数の参加を得ることが出来た。なお全体会議においても合宿形式は効果が高く、つくば市（第3回）、大阪市（第4回）、福岡市（第6回）、山形市（第8回）では、メンバーには出来るだけ連携研究者や学生も連れて指定の宿に泊まっていただくことで、交流の機会を用意するように心がけた。こうした機会を通じて、博士研究員が民間企業の幹部候補（正社員研究員）として採用される事例が生まれたほか、大学間での人材交流も進んだ。

6) 研修コース（計13回）の開催

本領域は「既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指すもの」であることから、研究手法や取り組み方はいずれも新しいものが多く、その情報交換は研究の促進に大いに有効である。特にソフト界面の構築・解析・応用の枠を超えた交流が大切である。そこで「ソフト界面研修コース」を設け、新しい手法を体験したり、原理を学んだり、共同研究の下打ち合わせをするための機会を用意した。これらは、個々の計測装置や技術を持つ研究室からのオファーに大きく依存した取組であるが、遠隔地の学生が参加する場合に旅費の補助を行うなど、総括班でも出来る限りの支援につとめた。独自の計測手法や合成技術を持つ研究者が積極的にそのサイエンスの開示につとめ、また領域メンバーが基礎からそれを学ぶことで、今後の分野の発展に大きく資する基礎基盤が形成された。研修コースは延べ13回を数えた。具体的な詳細は項目5で後述する。

7) 若手研究者企画による国際会議等の開催

ミニシンポジウムの企画を若手研究者から公募し、これを総括班で支援する制度を設け、人材育成に努めた。これについても項目5で述べる。そのうち特に国際会議を講師の人選や連絡、そして運営まで自由にまかされて進めることは大きな経験になったという。また「ソフト界面と文化遺産」と題したミニシンポジウムは、大規模改修中の姫路城を実際に視察しながら、漆喰などのソフトな融合材料について文化財の専門家から学ぶという滅多に無い機会に恵まれ、評価委員の梶山先生や領域メンバーのほか一般の参加者にも大変好評であった。このような機会を通じ、若手研究者の育成に貢献できたと考えている。

8) 新学術領域研究・関連4領域・合同公開シンポジウムの開催

新学術領域研究の制度が発足した最初の年に、本領域はスタートした。その後の数年のうちに、本領域もそれを一つのターゲットとして目指しているバイオマテリアル研究について、いくつかの領域が採択され、それぞれ活動を続けている。これら新学術領域研究で相互の情報交換を図ることを目的に、4領域合同公開シンポジウムを開催した。具体的には「融合マテリアル」「ナノメディシン分子科学」「超高速バイオアセンブラ」そして本「ソフト界面」から一人ずつ代表が出て、それぞれの領域のコンセプトと最新の成果を紹介した（2012年7月10日東大・小柴ホール）。また同様の催しを第35回日本バイオマテリアル学会大会（2013年11月26日タワーホール船堀）において開催することが決まっている。本領域の取組や成果が他の学術領域へと波及していくためのまたとない機会である。

9) 女性研究者の育成

人材育成の観点から女性研究者を重視してきたことにも触れておきたい。計画研究代表者13名のうち、三浦、栗原、佐藤、高井の4名が女性研究者である（約31%）。またうち3名は若手である（採

択時：三浦 36 歳、高井 40 歳、佐藤 41 歳)。このうち三浦、高井は本領域研究期間中にそれぞれ九州大教授、東大教授への昇任を果たした。また佐藤（産総研・主任研究員）は 2012 年に東工大・連携教授に就任したほか、同年、電気化学会第一回女性躍進賞を受賞している（「分子認識ソフト界面の構築と膜構造および機能評価に関する研究」）。なお公募研究においては通常の科研費審査と同様のプロセスで書面（性別は記載しない）審査が進められるため、男女の別を考慮する余地はない。結果としてのべ 40 名の公募研究者のうち女性研究者は 2 名であった。

10) **大学・研究室間の交流促進**

先にも述べた通り、本領域の研究代表者は総じて若く、主宰する研究室も必ずしも大きいものではないため、所属する学生は比較的狭い研究分野にとらわれ、交流範囲も研究室近傍に限られるという問題がある。そこで本領域では特に、組織を超えた研究室間での合同研究発表会の開催に学生旅費の補助などを通じて積極的に支援を行ってきた。詳細は後述するが、複数の研究室間で計 3 回の合同研究会が企画運営された。なかには別の新学術領域研究との間での 4 研究室合同発表会もあり、こうした取組が今後、研究分野を超えて広がっていくことを大いに期待するものである。

11) **産業界との連携**

産業界との交流について、評価委員の梶山先生から助言を受けており、これを達成するための一つの方策として 2012 年 11 月 9 日には「ソフト界面・新技術発表会」（於、東京大学）を開催した。本領域の 5 年間の成果が社会に還元されることを目指し、実用化の可能性が高いと思われる 10 件の成果をそれぞれの研究代表者が発表した。同発表会には企業からの 40 名を含め、70 名の参加を得た。

またもう一つの方策として、産業界の研究者に連携協力者としての参加をお願いし、公開シンポジウムだけでなく領域研究者に閉じた領域会議でもこれら企業研究者に討論に加わっていただくような仕組みをつくった（連携協力者制度）。それまでの公開シンポジウムに参加して下さった企業研究者の方々を中心に、20 名の方々に協力をお願いし、熱心に討論に参加していただいている。本領域研究者はこれに大きな刺激を受けたことは言うまでもない。また領域内の中国人博士研究員が企業研究者の目に留まり、幹部候補の正社員として採用されるに至ったことは同制度の成果として特筆したい。